



Principios energéticos en canales

Hidráulica Básica y Laboratorio

Distribución de energía en un Canal

- Flujo uniforme:

$$I_o \parallel I_w \parallel I_e$$

- Ecuación de Energía:

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

- Energía Específica

$$H_o = d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

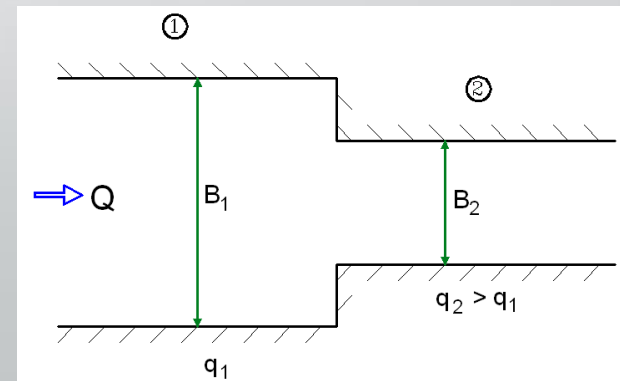
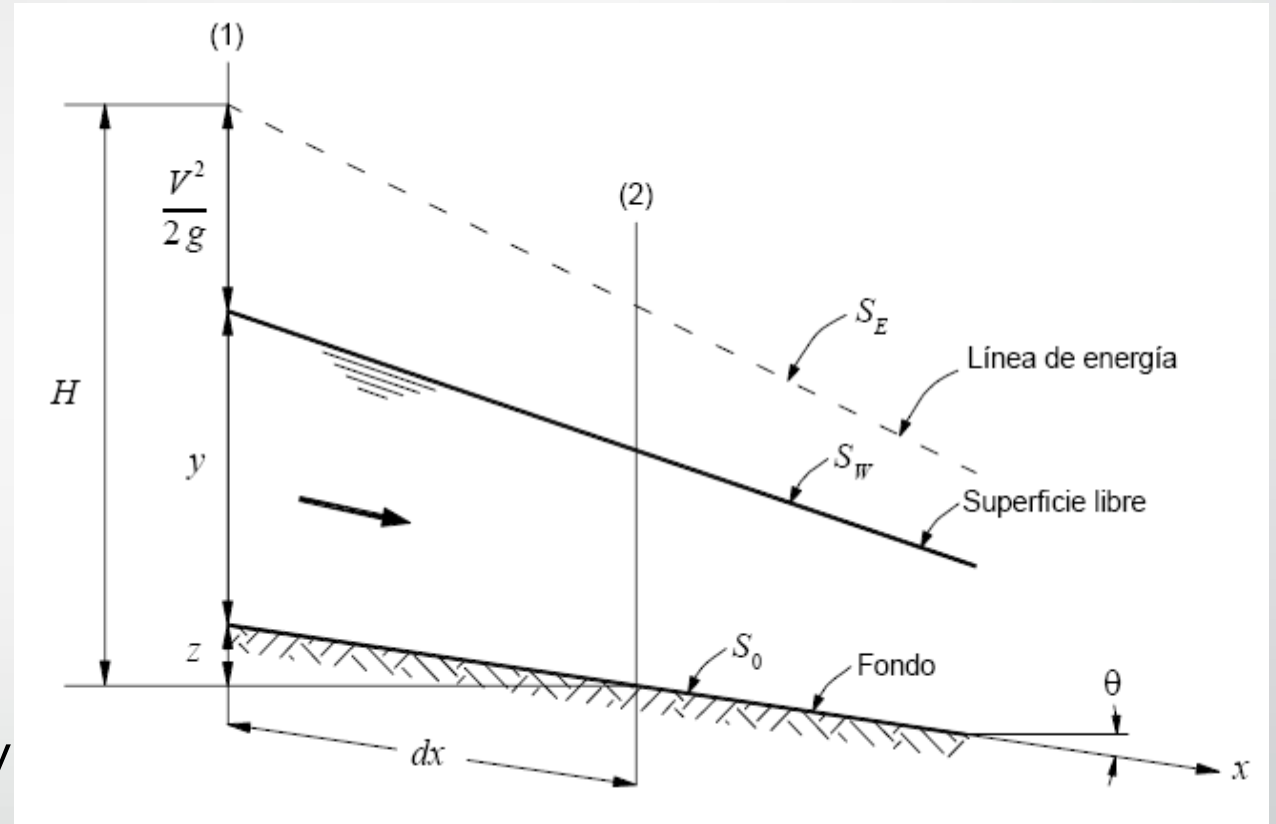
$$H_o = y + \frac{V^2}{2g} \text{ (canales i pequeña y } \alpha = 1)$$

- Para un canal rectangular:

$$q = \frac{Q}{b}$$

$$H_o = y + \frac{q^2}{2gy^2}$$

Caudal unitario



Número de Froude

- Para determinar el tipo de flujo que circula por una sección específica se recurre al cálculo del **Número de Froude**, que es la representación de los efectos de las fuerzas inerciales con respecto a las fuerzas de gravedad:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \frac{A}{T}}}$$

- De acuerdo al valor del número de Froude, se puede clasificar al flujo en:

Flujo lento $\rightarrow Fr < 1.0 \rightarrow$ flujo subcrítico $(y > y_c)$

Flujo crítico $\rightarrow Fr = 1.0 \rightarrow$ flujo crítico $(y = y_c)$

Flujo rápido $\rightarrow Fr > 1.0 \rightarrow$ flujo supercrítico $(y < y_c)$

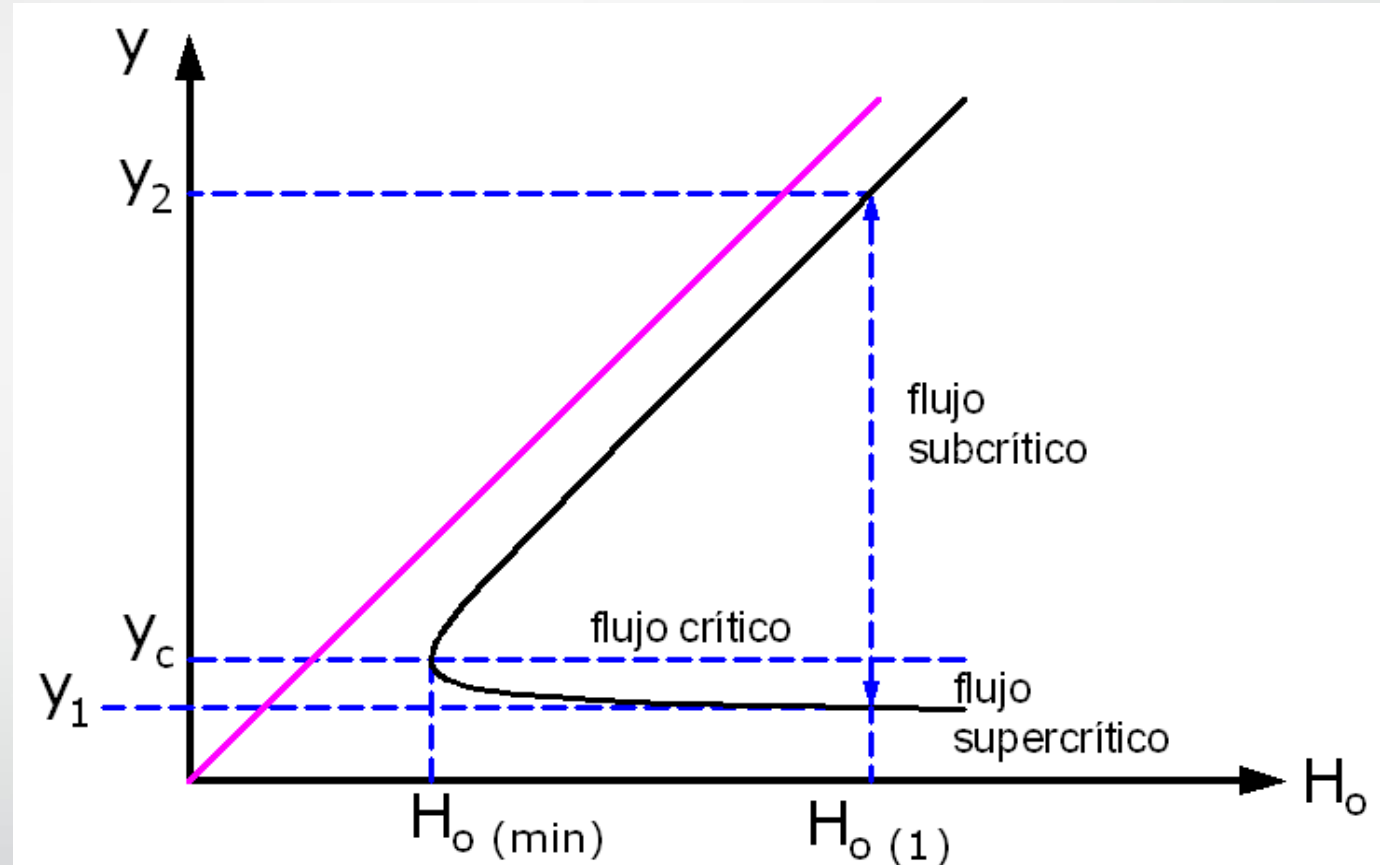
Diagrama de Energía Específica

El Diagrama de energía específica se construye para un caudal unitario determinado ($q = \text{cte}$), relacionando la energía específica (H_o) con el calado (y).

Del análisis de la curva se obtiene:

- El calado crítico es aquel que tiene la energía específica mínima.
- Un caudal puede ser transportado con dos profundidades, una con régimen rápido (supercrítico) y la otra con régimen lento (subcrítico), cuando la energía específica es mayor que la energía mínima.

Estas profundidades se conocen como profundidades alternas.



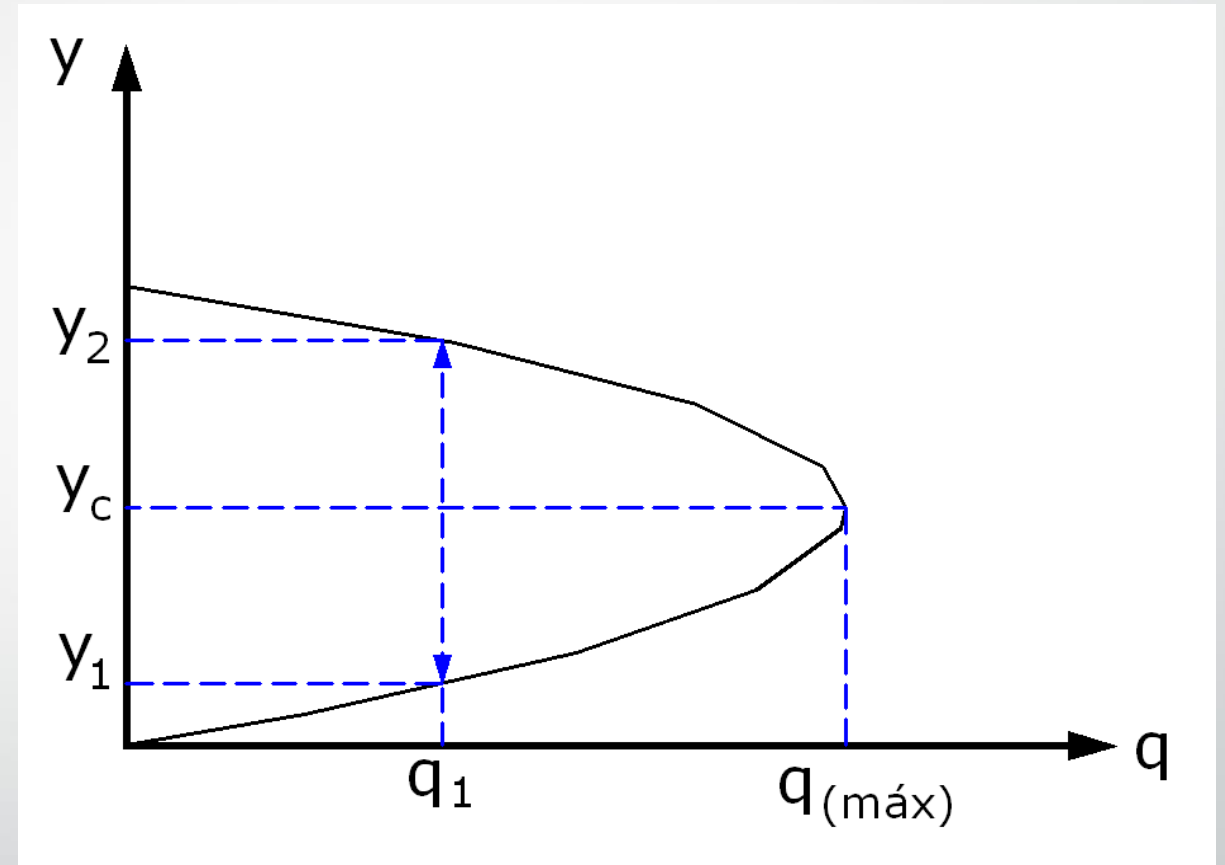
Si disminuye la cantidad de energía: en flujo rápido, la profundidad aumenta; en flujo lento, la profundidad disminuye.

Diagrama de Caudal Unitario Específico

El Diagrama de caudal unitario específico se construye para una energía específica determinada ($H_o = \text{cte}$), relacionando el caudal unitario (q) con el calado (y).

Del análisis de la curva se obtiene:

- El calado crítico es aquel que transporta el caudal unitario máximo.
- Un caudal puede ser transportado con dos profundidades, una con régimen rápido (supercrítico) y la otra con régimen lento (subcrítico), cuando el caudal unitario es menor el caudal unitario máximo es en la profundidad crítica



Si aumenta el caudal unitario específico: en flujo rápido, la profundidad aumenta; en flujo lento, la profundidad disminuye.

Flujo Crítico

Características:

- Flujo inestable
- La energía específica es mínima para un caudal determinado.
- El caudal unitario específico es máximo para una energía específica dada.
- El Número de Froude es igual a 1.
- El calado crítico se calcula utilizando la expresión:

$$Q = Z\sqrt{g}$$

Donde Z es el factor de sección para flujo crítico
($y = y_c$)

- Para un canal rectangular:

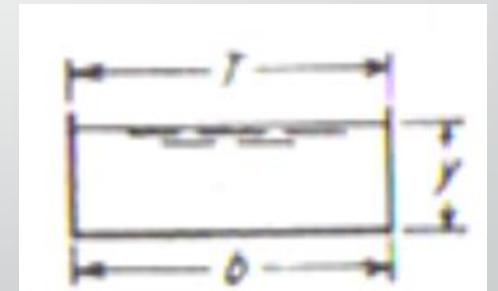
$$Z = A\sqrt{D} = by\sqrt{y} = by^{3/2}$$

$$Z = \frac{Q}{\sqrt{g}} = by^{3/2}$$

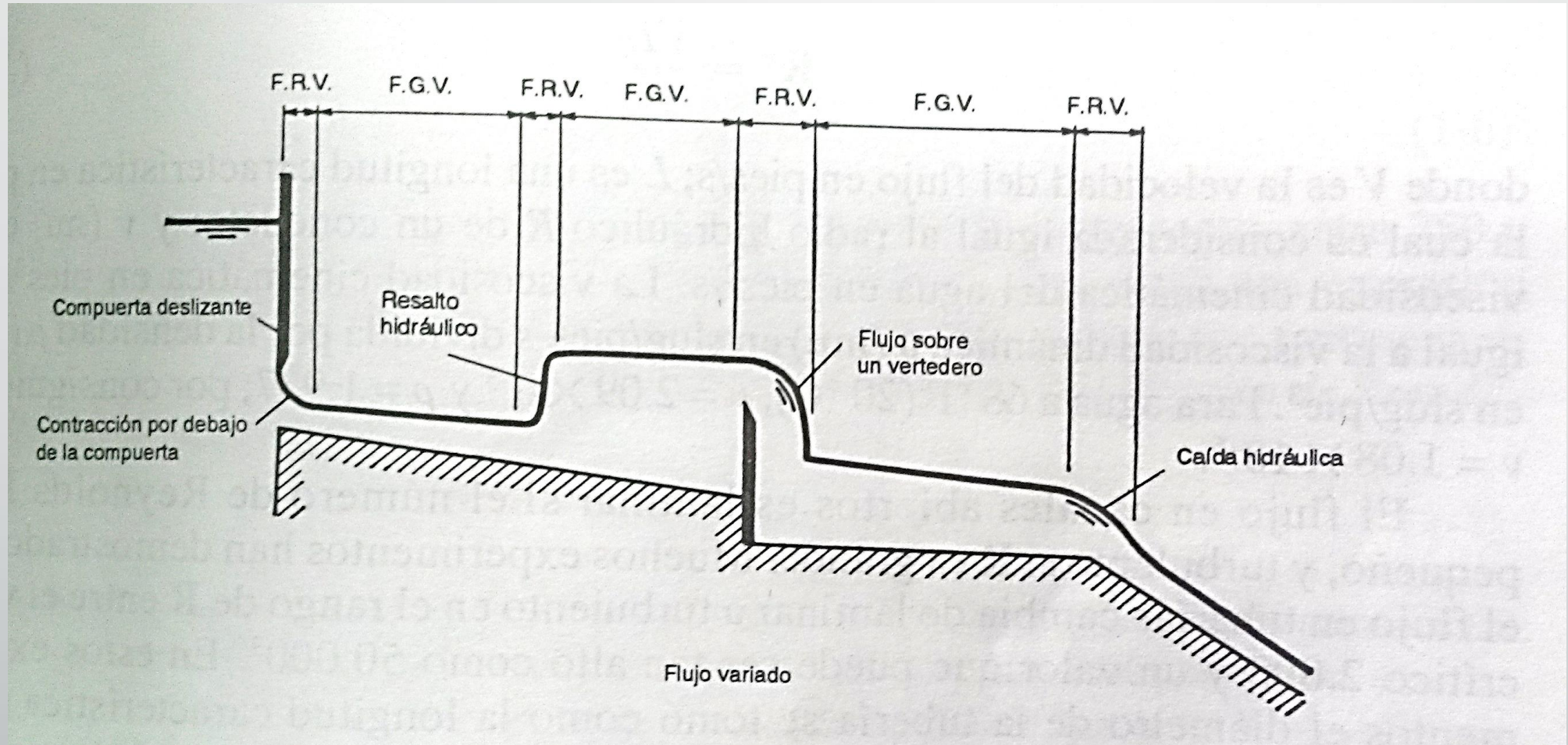
$$\frac{Q}{b\sqrt{g}} = y^{3/2}$$

$$y^3 = \frac{q^2}{g}$$

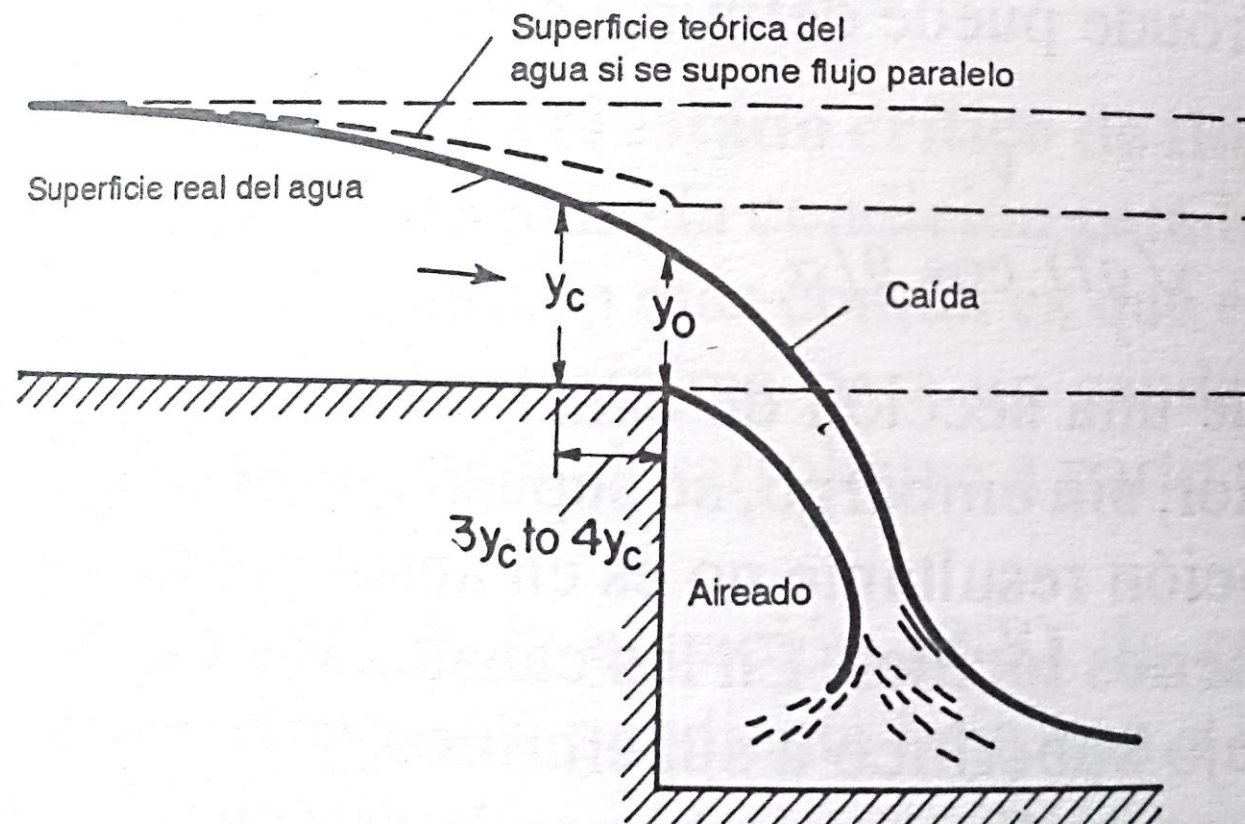
$$y = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$



Fenómenos locales: Caída hidráulica

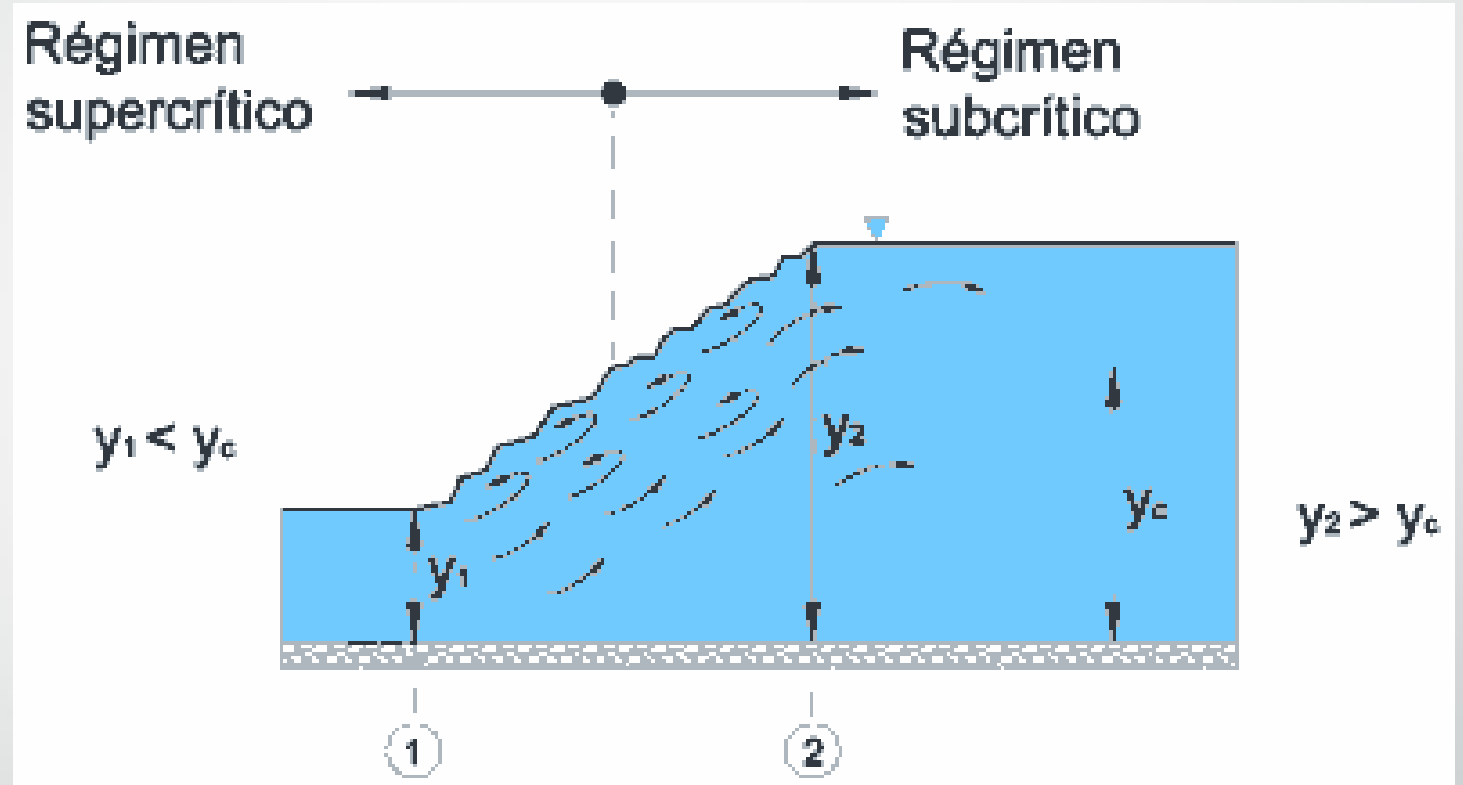


Fenómenos locales: Caída libre



Fenómenos locales: Resalto Hidráulico

Resalto Hidráulico es un fenómeno a gravedad de disipación de energía, definido como el paso violento de un flujo rápido (supercrítico) a un flujo lento (subcrítico).



El resalto hidráulico no necesita de estructuras de control. Se utiliza para disipar energía, siendo aprovechado además en sitios donde se puede tener mezcla de aire con agua. Ocurre con gran intercambio de movimiento.

Resalto Hidráulico

El resalto hidráulico se presenta cuando la fuerza específica (Momenta) aguas arriba es igual a la fuerza específica aguas abajo, por lo tanto:

$$M_1 = M_2$$

Siendo $M = P + \rho QV$, donde P es la fuerza de presión y ρQV es la fuerza del impulso o cantidad de movimiento.

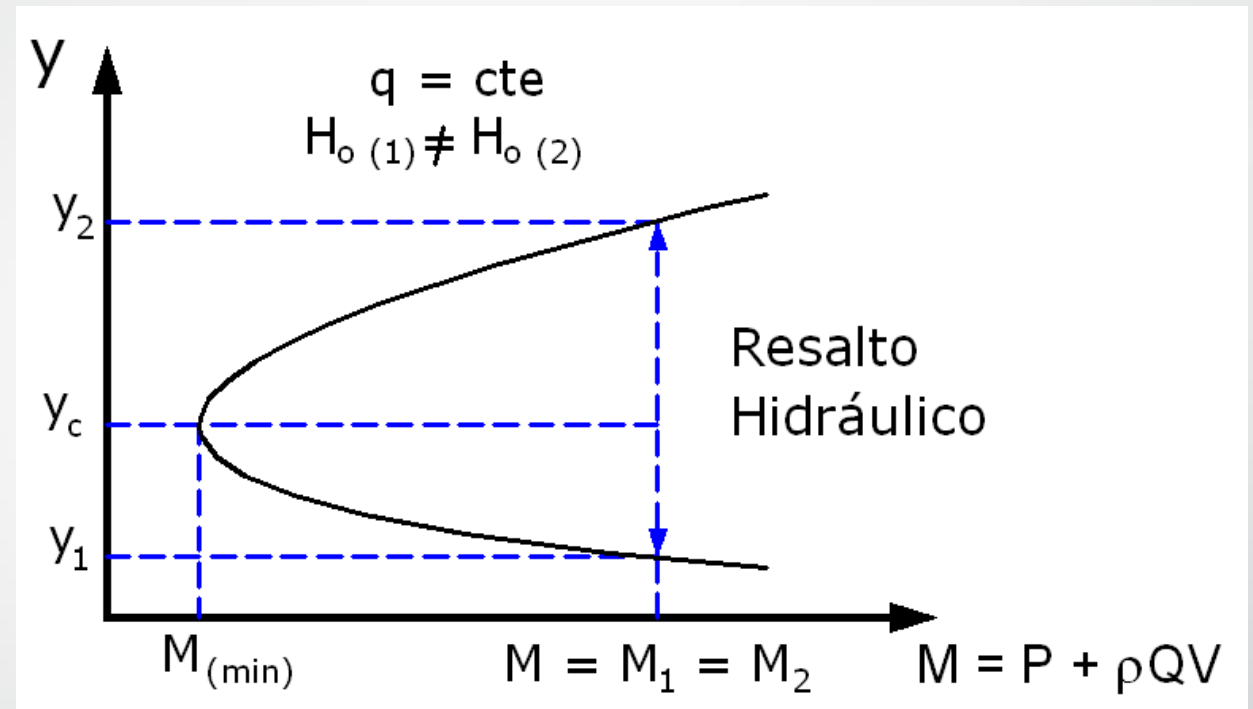


Diagrama de Fuerza Específica

El Diagrama de fuerza específica se construye para un caudal unitario determinado ($q = \text{cte}$), relacionando la momenta (M) con el calado (y).

Del análisis de la curva se obtiene:

- El calado crítico es aquel que tiene la fuerza específica mínima.
- Las profundidades supercrítica y subcrítica que presentan un mismo valor de momenta se conocen como profundidades conjugadas.

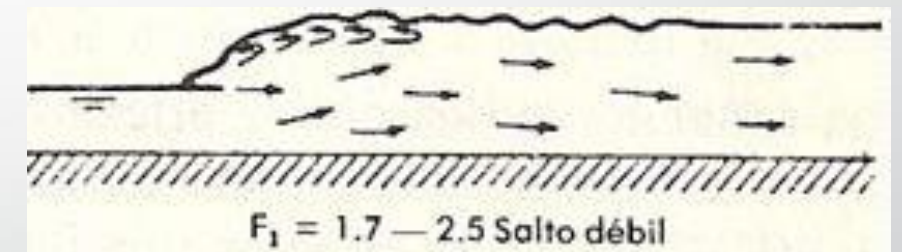
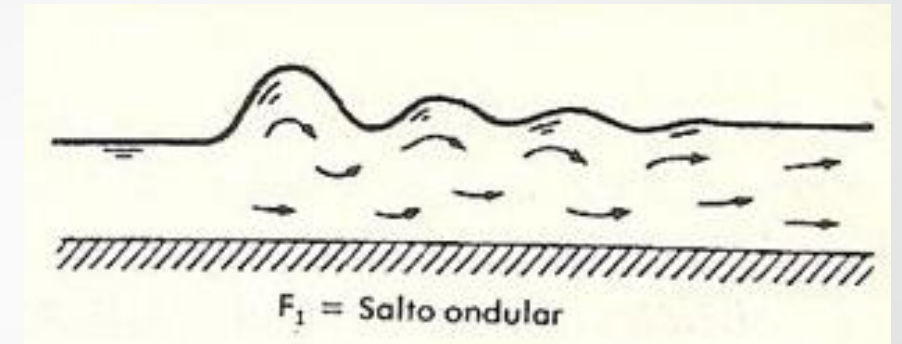
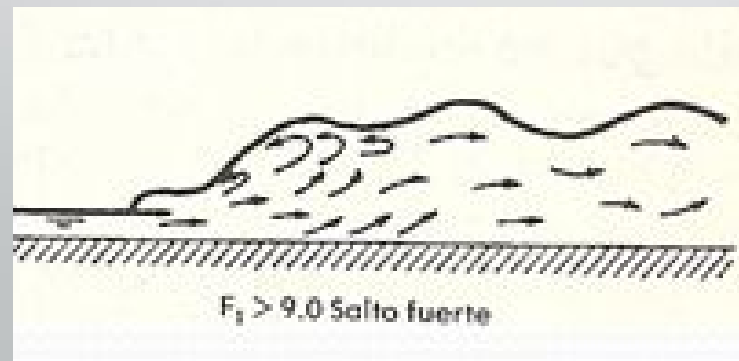
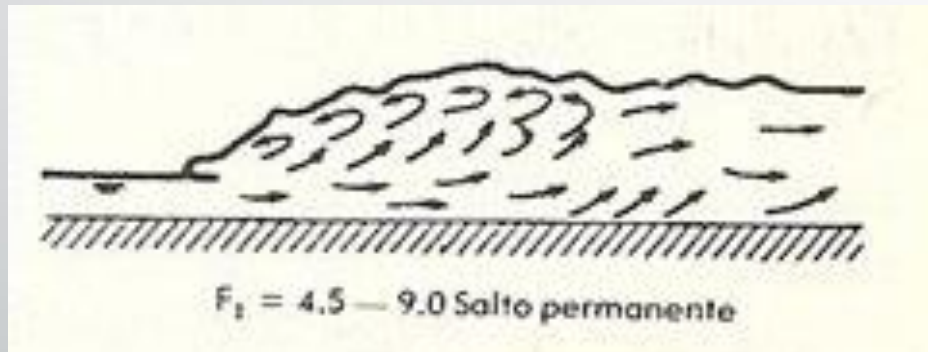


Esta condición es la que permite encontrar las profundidades conjugadas del resalto hidráulico que se obtienen a partir de las ecuaciones de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento. La expresión resultante es:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right)$$

Tipos de Resalto Hidráulico

- $M_1 = M_2 \rightarrow$ Resalto estable
- $M_1 > M_2 \rightarrow$ Resalto rechazado
- $M_1 < M_2 \rightarrow$ Resalto sumergido



Longitud del Resalto Hidráulico

Para el cálculo de la Longitud del resalto hidráulico existen varias fórmulas experimentales:

- Pavlovsky (1937):

$$L = 2,5(1,9y_2 - y_1)$$

- Chertousov (1935):

$$L = 10,3y_1(\sqrt{Fr} - 1)^{0,81}$$

- Pikalov (1950):

$$L = 4y_1\sqrt{1 + 2Fr_1}$$



www.upct.es

- Aivasian (1958):

$$L = 8 \frac{10 + \sqrt{Fr_1}}{Fr_1} \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1y_2}$$

- 
- <https://www.youtube.com/watch?v=BH3BIHkekgE>

Referencias

- Haro P, Apuntes Hidráulica Básica, (2016-A)
- Chow Ven Te, Hidráulica de canales abiertos